

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 678.04:693.22

**ВИШНЯКОВА  
ЮЛИЯ ВАЛЕНТИНОВНА**

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ  
С КАРБОНАТОСОДЕРЖАЩИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ  
ИЗ ВТОРИЧНОГО ПРОДУКТА ВОДОПОДГОТОВКИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Брест, 2014

Работа выполнена на кафедре строительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

Научный руководитель      **Бакатович Александр Александрович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
**декан инженерно-строительного факультета**  
**учреждения образования «Полоцкий**  
**государственный университет», г. Новополоцк**

Официальные оппоненты: **Леонович Сергей Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технология строительного  
производства» Белорусского национального  
технического университета, г. Минск

**Сафончик Дмитрий Иосифович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Строительное  
производство» учреждения образования  
«Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы», г. Гродно

Оппонирующая      **Научно-исследовательское республиканское**  
организация      **унитарное предприятие по строительству**  
**«Институт БелНИИС», г. Минск**

Защита состоится 25.06.2014 в 13.00 на заседании Совета по защите диссертаций К 02.09.01 при учреждении образования «Брестский государственный технический университет» по адресу: 224017, г. Брест, ул. Московская, 267, ауд. 323, телефон учёного секретаря: +375 162 40 60 87.

Отзывы просим направлять по адресу: 224017, г. Брест, ул. Московская, 267, УО «БрГТУ», ученому секретарю совета, тел. (0162) 40 60 87

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Автореферат разослан 22 мая 2014 года.

Ученый секретарь Совета  
по защите диссертаций К 02.09.01  
кандидат технических наук, доцент



Шевчук В. Л.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основная задача промышленности строительных материалов – разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий производства экологически чистых материалов, изготавливаемых по безотходным технологиям с максимальным использованием местного сырья и техногенных отходов промышленности. Значительную группу техногенных продуктов составляет вторичный продукт – минеральные шламы, образующиеся при химической подготовке и осветлении воды на предприятиях энергетического комплекса. Высокая дисперсность, стабильный химический состав отдельных шламов открывает широкие перспективы применения их в качестве минеральных наполнителей, а также химических активаторов гидратации, структурообразования цементных и композиционных материалов.

Многотоннажным вторичным продуктом, получаемым во всех регионах Республики Беларусь, является шлам водоочистки. Исходный стабильный химический состав шлама в сочетании с простой экологически безопасной технологией получения наполнителя на его основе позволяет получать растворные смеси и растворы, соответствующие требованиям действующих нормативных документов. Утилизация шлама дает возможность решить региональные экологические проблемы, связанные с хранением вторичного продукта. Применение наполнителя в виде дисперсного порошка на основе шлама водоочистки позволит исключить применение извести в цементных строительных растворах и заменить часть вяжущего в известковых штукатурных растворах.

Работа выполнена на кафедре строительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет» под научным руководством кандидата технических наук, доцента А. А. Бакатовича.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами**

Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585, (п. 8.8 «Новые неорганические и композиционные материалы для дорожного, промышленного и жилищного строительства, методы и средства измерений свойств строительных материалов»).

Экспериментально-теоретические исследования, проведенные автором диссертационной работы, являются составной частью отчета по государственной бюджетной научно-исследовательской работе ГБ 13-26 «Разработка и исследование новых ресурсо- и энергосберегающих материалов и техно-

логий в строительстве», выполненной на кафедре строительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет» в 2006–2010 годах (номер государственной регистрации № 20066341).

Результаты диссертационной работы отражены в отчете (2010 г.) по госбюджетной тематике ГБ 01-10 «Разработка эффективного карбонатосодержащего тонкодисперсного наполнителя на основе шлама водоочистки для строительных растворов» (номер государственной регистрации № 20100275).

### **Цель и задачи исследования**

*Цель диссертационной работы* – разработка строительных растворов, содержащих наполнитель из вторичного продукта водоподготовки, позволяющий обеспечить комплекс эксплуатационных показателей композиционных составов.

Для достижения поставленной цели решены следующие *задачи*:

1) определен минералогический и гранулометрический состав карбонатосодержащего наполнителя;

2) установлено оптимальное количество карбонатосодержащего наполнителя в составе строительных растворов с применением математического моделирования;

3) рассмотрены механизмы влияния наполнителя на свойства растворных смесей и растворов. Определены процессы взаимодействия наполнителя с цементом;

4) исследованы физико-механические свойства цементных и известковых растворов, содержащих наполнитель;

5) разработаны и утверждены технические условия ТУ ВУ 300220696.050-2010 «Наполнитель карбонатосодержащий для строительных растворов».

*Объектом исследований* являются строительные растворы с карбонатосодержащим наполнителем.

*Предмет исследований* – основные свойства кладочных, штукатурных цементных и известковых растворных смесей, растворов с карбонатосодержащим наполнителем, процессы взаимодействия наполнителя с цементом, механизмы влияния наполнителя на показатели растворных смесей и растворов.

### **Положения диссертации, выносимые на защиту**

1. Установленные зависимости влияния гранулометрического состава и расхода наполнителя на подвижность, водоудерживающую способность, расслаиваемость растворных смесей и прочность на сжатие строительных растворов, подтверждаемые результатами проведенных исследований.

2. Экспериментальные данные по физико-механическим свойствам, включающим подвижность, расслаиваемость, водоудерживающую способность растворных смесей, прочность на сжатие, прочность сцепления, плотность, морозостойкость, водопоглощение растворов, содержащих наполнитель. На основании полученных результатов разработана методика подбора составов цементных растворов, содержащих наполнитель.

3. Техническое решение по утилизации шлама водоочистки в виде экологически безопасного карбонатосодержащего наполнителя для цементных, известковых растворов, основанное на экспериментальных исследованиях, позволяющее разрешить экологические, а также экономические вопросы хранения и применения вторичного продукта ТЭЦ и котельных на территории Республики Беларусь.

#### **Личный вклад соискателя**

Диссертация представляет самостоятельный труд автора, выполненный на кафедре строительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

#### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались: на XV международном научно-методическом семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Новополоцк, 27–28 ноября 2008 г.; XVI международном научно-методическом семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест, 28–30 мая 2009 г.; Junior researchers' conference. Polotsk State University, Novopolotsk, April 22–23, 2009; XVII международном научно-методическом семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Гродно, 27–28 мая 2010 г.; National and European dimension in research, III conference. Polotsk State University, Novopolotsk, April 27–28, 2011; международной научно-практической конференции «Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве», Гомель, 15–16 декабря 2011 г.; XVIII международном научно-методическом семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Новополоцк, 28–29 ноября 2012 г.

#### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 5 в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь. Общий объём работ – 6,95 авторских листа, из них в научных журналах по перечню ВАК Республики Беларусь – 2,82 авторских листа. Получен патент на изобретение № 12805 «Кладочный раствор» и патент на полезную модель № 5677 «Форма для определения прочности строительных растворов».

#### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения и приложений. Содержит 131 страницу, 55 рисунков, 28 таблиц, 6 приложений, список использованных источников из 172 наименования на 14 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** проанализирован опыт применения шламов при производстве строительных материалов, а также использования наполнителей в строительных растворах. Существенный вклад в исследование наполнителей для строительных растворов, разработку теоретических основ и практических путей направленного регулирования свойств модифицированных цементных композиций внесли: О. В. Тараканов, Э. И. Батяновский, С. А. Высоцкий, В. В. Бабков, С. А. Эмралиева, Н. С. Протько, J. Kuřik, F. Farran, А. С. Пантелеев, В. Ф. Журавлев, А. И. Сокольский, Л. И. Касторных, М. С. Макарович и др.

Как показывают результаты проведенных ранее исследований, использование в цементных композициях карбонатных наполнителей из числа отходов производства позволяет достичь экономии цементного клинкера, улучшить физико-механические и строительно-технологические свойства цементных бетонов и растворов. Однако в имеющихся публикациях даются разные точки зрения по оптимальной дисперсности и расходу наполнителей. На сегодняшний день отсутствуют единые рекомендации по определению оптимальной дисперсности и расходу наполнителя, и в каждом конкретном случае данные показатели определяются экспериментальным путем.

Кроме того, в ряде случаев по причине нестабильного химического состава, ограничения дозировки, несоответствия фракционного состава не обеспечиваются в комплексе требуемые нормативные физико-механические характеристики растворных смесей и растворов. В связи с чем в отдельных работах предлагается вводить в комплексе с наполнителем органические пластифицирующие добавки, что в свою очередь ведет к усложнению технологии и повышению стоимости растворных смесей.

Серьезной проблемой на производстве является изготовление цементных строительных растворов, позволяющих исключить использование традиционной добавки в виде известкового молока. Известь является самостоятельным вяжущим в растворах и имеет достаточно высокую стоимость, сопоставимую со стоимостью цемента.

В проводимых исследованиях ставится задача получения карбонатосодержащего порошкового наполнителя на основе вторичного продукта ТЭЦ и котельных, применение которого позволит производить цементные и известковые растворы, соответствующие требованиям СТБ 1307 и не уступающие по своим свойствам традиционным строительным растворам. При этом наполнитель можно будет применять как для изготовления растворных смесей на растворобетонных узлах, так и для выпуска сухих строительных смесей.

**Во второй главе** приведены показатели качества и характеристики использованных материалов, методики исследований, применяемые приборы и оборудование. Разработана методика по определению прочности раствора из шва кладки, позволяющая снизить трудоемкость и ускорить процесс изготовления образцов-кубиков размером  $20 \times 20 \times 20$  мм, для чего предложено использовать разработанную нами форму (патент Республики Беларусь № 5677).

Согласно разработанной методике форму устанавливают на пористое основание – кирпич, покрытое предварительно мокрым листом бумаги. Ячейки заполняют растворной смесью, укрывают мокрым листом тонкой бумаги и сверху устанавливают второй кирпич. После распалубки через 3 суток образцы размером  $10 \times 20 \times 20$  мм размещают между двумя кирпичами, по периметру кирпича выполняют герметизацию шва силиконовым герметиком и хранят при температуре  $20 \pm 2$  °С и влажности воздуха  $60 \pm 5$  %. Герметизация шва позволяет более точно моделировать влажностный режим, при котором происходит набор прочности раствором в толще кладки. В возрасте 28 суток из образцов изготавливают кубики размером  $20 \times 20 \times 20$  мм и проводят испытания по определению прочности на сжатие.

Также во второй главе рассмотрены процесс образования вторичного продукта водоподготовки на тепловых электроцентралях и технология получения карбонатосодержащего наполнителя в лабораторных условиях.

Наиболее остро вопрос утилизации шлама водоочистки стоит в Витебской области. На территории региона образуется 3,2 тыс. тонн шлама в год, что составляет практически половину от всего получаемого объема в стране. Основной объем шлама (2,9 тыс. т) образуется на Новополоцкой ТЭЦ, производящей очистку воды для технологического потребления таких промышленных гигантов, как ОАО «Нафтан» и завод «Полимир», а также для бытовых нужд жителей города Новополоцка.

Анализ химических составов шламов тепловых электроцентралей по регионам Республики Беларусь позволяет сделать вывод о том, что основными соединениями, входящими в его состав, являются карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в количестве 63,7–69,8 % и основной карбонат магния ( $3\text{MgCO} \cdot \text{MgOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – 6,4–10 %.

Содержание остальных веществ колеблется в пределах: двуводный гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) от 2,6 до 8,6 %; гидроксид железа ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) от 4,0 до 7,1 %; оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) от 0,6 до 4,3 %; силикат кальция ( $\text{CaSiO}_3$ ) от 3,1 до 6,7 %; органические соединения от 4,2 до 9,7 %.

Проведен термический анализ шлама с построением кривой тепловых изменений, происходящих в веществе, и кривой изменения массы в зависимости от температуры для подтверждения наличия основных соединений.

**В третьей главе** рассмотрена возможность применения шлама в качестве наполнителя и установлены механизмы взаимодействия карбонатосодержащего наполнителя с цементом.

Для установления возможности применения шлама в качестве наполнителя в цементных растворных смесях проведены исследования прочности композиций на цементах ПЦ500 Д20 заводов ПРУП «Белорусский цементный завод» и ПРУП «Кричевцементношифер», содержащих добавку извести и наполнитель, с определением показателей нормальной густоты. Наполнитель вводили в количестве 10–60 % от массы цемента. Наибольший размер частиц наполнителя составил 80 мкм.

Анализ полученных результатов позволяет установить, что увеличение дозировки наполнителя ведет к увеличению показателя нормальной густоты. В свою очередь, увеличение количества воды приводит к снижению прочности цементных композиций с наполнителем. Так, например, прочность составов, содержащих наполнитель в количестве 10 % от расчетной массы цемента, практически в 2 раза выше прочности составов, содержащих наполнитель в количестве 60 %, в возрасте 7 суток и в 1,5 раза – в возрасте 28 суток.

Проведен термический анализ цементно-известкового и цементного камня, содержащего наполнитель. Анализ дифференциально-термических кривых позволяет говорить об их идентичности и об отсутствии каких-либо новых образований, отрицательно влияющих на долговечность раствора с наполнителем, что также подтверждается результатами испытаний по кинетике набора прочности в течение 2-х лет.

Выполнена серия рентгенофазовых исследований цементного камня с добавкой извести и наполнителем. Присутствие на рентгенограмме интенсивных пиков кальцита свидетельствует о протекании в системе «цемент – наполнитель» карбонизационных процессов и подтверждает наличие несвязанного кальцита, выступающего в качестве центров кристаллизации. На рентгенограмме цементного камня с наполнителем отмечается больший по интенсивности пик этtringита, чем на рентгенограмме цементного камня с добавкой извести, что обусловлено присутствием гипса в самом шламе.

В сравниваемых образцах в возрасте 3 суток установлено наличие стандартных соединений, характерных для гидратации цемента (этtringита, гидроксида и карбоната кальция, остатки негидратированных клинкерных минералов), и отсутствие соединений, отрицательно влияющих на долговечность раствора с наполнителем.

Исследование образцов через 250 суток показало присутствие гидросиликатов кальция и уменьшение интенсивности пиков портландита. Прирост прочности цементного камня при длительном твердении обусловлен в значи-



тельной степени кристаллизацией гидросиликатов кальция и постепенно происходящей карбонизацией. На рентгенограмме цементного камня с наполнителем уже не наблюдается  $C_3A$ , зафиксировано образование гидрокарбоалюмината кальция в результате химического взаимодействия  $C_3AH_6$  с карбонатом кальция. Возможно, что параллельно с гидрокарбоалюминатом кальция происходит образование гидрокарбоалюмината магния. Новая кристаллическая фаза представляет стабильно существующее соединение при нормальных температурных условиях, повышающее прочность цементного камня.

В поздние сроки твердения цемента существует также возможность поверхностного химического взаимодействия карбонатов кальция и магния с гидроксидом кальция. При наличии в цементной системе карбоната кальция (магния) происходит образование сложных двойных соединений – основных карбонатов кальция (магния), положительно влияющих на прочность цементного камня.

**В четвёртой главе** по результатам экспериментальных исследований получены математические модели прочности кладочных растворов, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворных смесей с наполнителем. Выполнено обоснование выбора плана эксперимента, а также приведены результаты проверки адекватности и значимости полученных моделей.

В натуральных обозначениях факторов модели имеют следующий вид:

- *прочность в возрасте 28 суток*

$$R_{28} = -2,388 - 0,039 \cdot C + 0,225 \cdot H + 0,239 \cdot P_{\text{ч}} - 1,243 \cdot П + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot C^2 - 1,39 \cdot 10^{-3} \cdot H^2 - 1,52 \cdot 10^{-3} \cdot P_{\text{ч}}^2 + 0,065 \cdot П^2 - 6,2 \cdot 10^{-4} \cdot C \cdot П + 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot H \cdot П; \quad (1)$$

- *расслаиваемость*

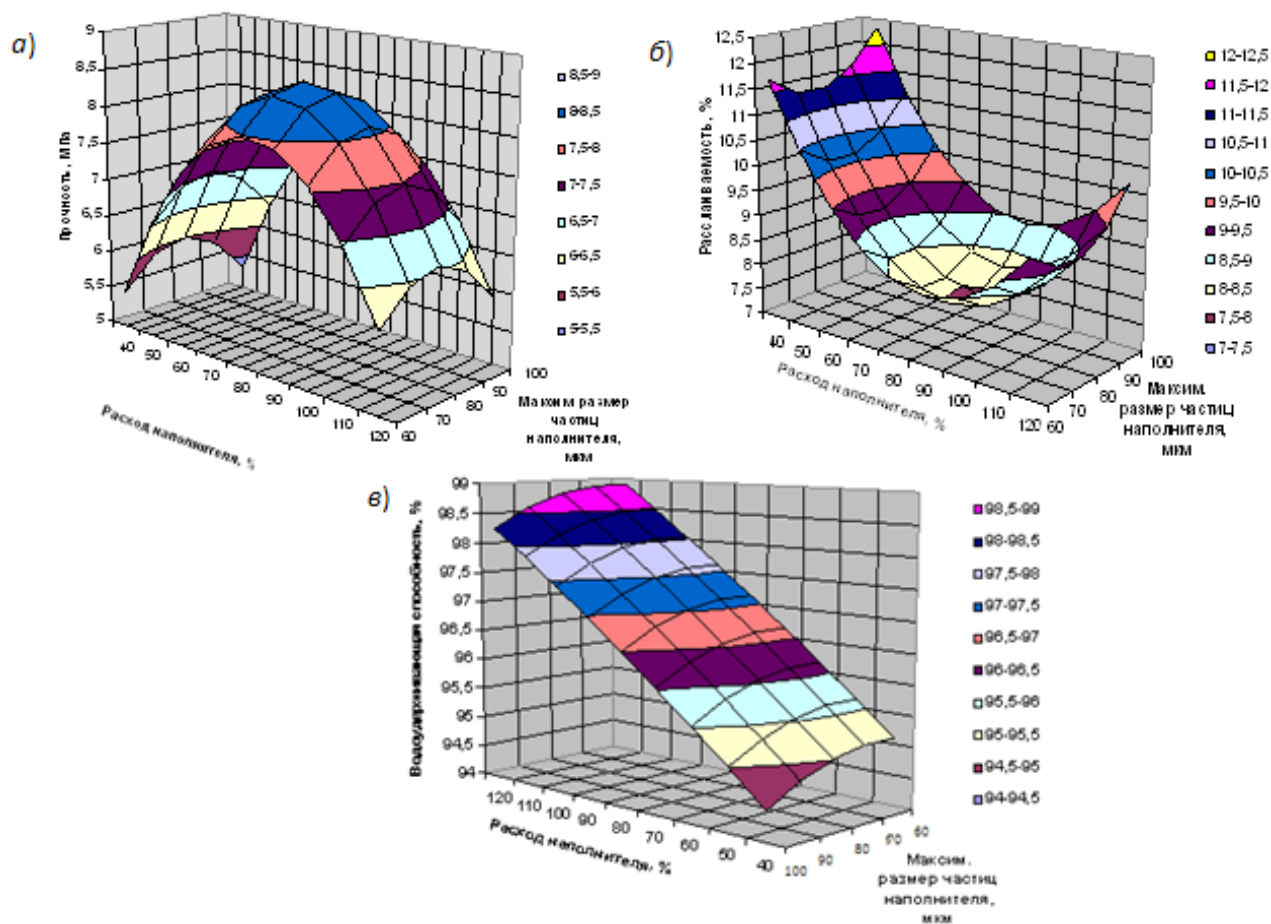
$$P = 38,741 - 0,041 \cdot C - 0,245 \cdot H - 0,257 \cdot P_{\text{ч}} - 2,275 \cdot П + 7 \cdot 10^{-5} \cdot C^2 + 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot H^2 + 1,71 \cdot 10^{-3} \cdot P_{\text{ч}}^2 + 0,197 \cdot П^2 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot C \cdot H + 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot C \cdot П; \quad (2)$$

- *водоудерживающая способность*

$$B = 85,802 + 0,018 \cdot C + 0,0478 \cdot H + 0,0779 \cdot P_{\text{ч}} + 0,899 \cdot П - 3 \cdot 10^{-5} \cdot C^2 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot H^2 - 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot P_{\text{ч}}^2 - 0,0746 \cdot П^2 + 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot C \cdot П + 1,56 \cdot 10^{-3} \cdot H \cdot П - 1,09 \cdot 10^{-3} \cdot P_{\text{ч}} \cdot П. \quad (3)$$

По полиномиальным моделям построены графики изменения прочности, расслаиваемости и водоудерживающей способности в зависимости от дозировки и максимального размера частиц наполнителя.

В качестве примера приведены зависимости при расходе цемента 160 кг и подвижности 8 см (рисунок 1).



**а – изменение прочности раствора;**

**б – изменение расслаиваемости растворной смеси;**

**в – изменение водоудерживающей способности растворной смеси**

**Рисунок 1 – Показатели цементной растворной смеси и раствора с наполнителем при расходе цемента 160 кг и подвижности 8 см**

Для подтверждения теоретических данных проведены экспериментальные исследования прочности раствора, водоудерживающей способности и расслаиваемости растворной смеси с карбонатосодержащим наполнителем (максимальный размер частиц наполнителя 80 мкм) при подвижности 8 см (таблица 1).

Сопоставляя данные планирования эксперимента и прямых испытаний, можно говорить о сходимости результатов.

Использование полиномиальных моделей дало возможность определить оптимальную дозировку наполнителя в количестве 70–90 % от расчетной массы извести при максимальном размере частиц 60–90 мкм.

Таблица 1 – Основные показатели качества кладочных цементных растворов смесей и растворов

№ состава	Расход цемента на 1 м <sup>3</sup> , кг	Расход наполнителя на 1 м <sup>3</sup> , кг	В/Т	Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
				7 сут	28 сут		
1	168,6	33,2 (40*/20")	1,45	4,1	5,8	10,6	95,2
2	167,5	49,4 (60/30)	1,28	4,6	6,6	9,4	95,5
3	166	65,5 (80/40)	1,12	5,5	7,8	8,2	96,5
4	165	81,2 (100/50)	1,19	5,0	7,2	8,0	97,2
5	163,8	96,7 (120/60)	1,24	4,7	6,7	9,1	97,8
* – процент ввода наполнителя от расчетной массы извести; " – процент ввода наполнителя от расчетной массы цемента.							

Оптимальное количество наполнителя для штукатурных составов определяли, основываясь на показателях прочности растворов, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворов смесей.

За контрольные приняты составы цементно-известкового штукатурного раствора марки М 75 с расходом цемента 192 кг и известково-песчаного раствора с соотношением известь : песок, составляющим 1 : 6, используемого для внутренних отделочных работ. Подвижность растворов смесей составляла 8 см. Результаты исследований приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Основные показатели качества штукатурных цементных растворов смесей и растворов

№ состава	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг			В/Т	Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
	цемента	извести	наполнителя		7 сут	28 сут		
7	192	90 (50)*	–	1,28	5,0	7,5	8,3	96,5
8	197	–	37 (20*/40")	1,48	4,3	7,0	9,6	95,7
9	195	–	55 (30/60)	1,35	5,2	7,6	8,5	96,2
10	194	–	72 (40/80)	1,21	5,8	8,3	8,0	96,5
11	192	–	90 (50/100)	1,3	5,1	7,7	8,3	97,0
12	190	–	107 (60/120)	1,34	4,6	7,2	9,0	97,4
* – процент ввода извести или наполнителя от расчетной массы цемента; " – процент ввода наполнителя от расчетной массы извести.								

Для штукатурных цементных растворов смесей оптимальным является введение наполнителя с максимальным размером частиц 80 мкм в количестве 60–100 % от расчетной массы извести. Прочность растворов с наполнителем в возрасте 7 суток превышает значения цементно-известковых составов на 16–20 %. Экспериментальные данные по результатам исследований позволили установить, что для штукатурных известковых смесей оптимальным яв-

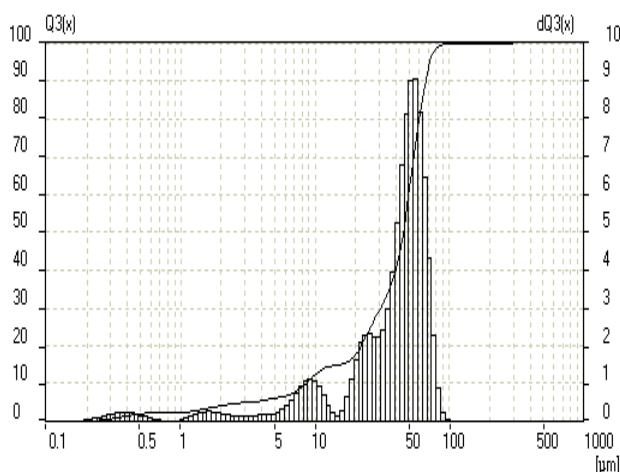
ляется сокращение расхода извести на 40–50 % при введении наполнителя в количестве 80 % от заменяемой массы извести. Расслаиваемость и водоудерживающая способность сохраняются на уровне контрольных значений, при этом прочность растворов с наполнителем в возрасте 7 суток превышает значения известкового состава на 60 %, а в возрасте 28 суток на 15 %.

Таблица 3 – Основные показатели качества штукатурных известковых растворных смесей и растворов

№ состава	Расход, кг			Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
	извести	наполнителя	воды	7 сут	28 сут		
1	230	–	343	0,8	1,5	7,8	96,2
2	190	38 (20 %)*	328	0,6	1,5	7,8	96,5
3	169	58 (30 %)	314	0,8	1,6	7,9	96,3
4	147	78 (40 %)	305	1,3	1,8	8,1	96,6
5	124	99 (50 %)	301	0,9	1,5	8,0	96,4
6	99	118 (60 %)	301	0,7	1,2	8,3	96,0
* – процент сокращения расхода извести по массе.							

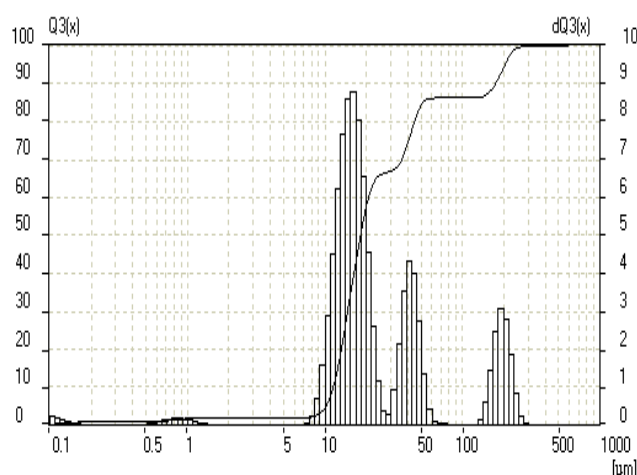
На достигнутые результаты по основным свойствам растворной смеси и раствора существенное влияние оказывает фракционный состав наполнителя.

С помощью специальной программы по обработке результатов построены кумулятивные кривые распределения и кривые плотности распределения (рисунок 2, 3).



**Q3(x) – кумулятивная кривая распределения;  
dQ3(x) – кривая плотности распределения**

**Рисунок 2 – Распределение частиц наполнителя по размерам**



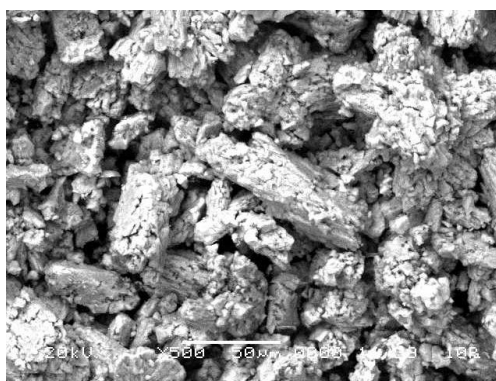
**Q3(x) – кумулятивная кривая распределения;  
dQ3(x) – кривая плотности распределения**

**Рисунок 3 – Распределение частиц цемента по размерам**

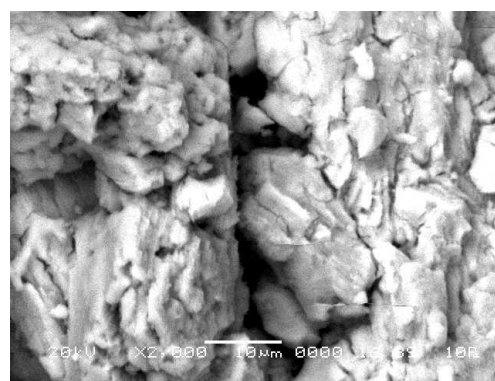
Анализ полученных кривых распределения позволяет сделать вывод о том, что размеры частиц наполнителя сопоставимы с размерами частиц цемента. Если частицы наполнителя и цемента соизмеримы, то оптимальным считается максимальное насыщение цемента наполнителем без образования контактов частиц наполнителя между собой. При оптимальном насыщении цемента частицы наполнителя позволяют формировать более плотную структуру цементного камня, что способствует повышению прочности цементной композиции с наполнителем. Данные выводы подтверждаются результатами выполненных исследований по определению прочности цементных систем с наполнителем, а также при установлении оптимального насыщения цемента наполнителем с учетом основных показателей кладочных и штукатурных растворов.

Микроскопические исследования наполнителя выполнялись с целью подтверждения результатов гранулометрического анализа и определения формы частиц наполнителя. В пробе наполнителя (рисунок 4) наблюдается неравномерное распределение частиц по размерам и подтверждается наличие большого количества частиц фракцией от 50 до 55 мкм и значительное количество частиц размером менее 40 мкм. Кроме того, крупные частицы от 50 мкм и более имеют продолговатую округлую форму. С уменьшением размера (менее 50 мкм) форма зерен становится более сферической.

При увеличении 2000 крат (рисунок 5) отчетливо видно, что частицы порошка имеют рыхло-зернистую структуру. Такая структура позволяет хорошо удерживать воду, в том числе и на поверхности частиц, что обеспечивает высокую водоудерживающую способность и низкую расслаиваемость растворов смесей, содержащих наполнитель.



**Рисунок 4 – Электронная микроскопия частиц наполнителя (увеличение 500 крат)**



**Рисунок 5 – Электронная микроскопия частиц наполнителя (увеличение 2000 крат)**

В пятой главе приведены результаты исследований свойств растворов смесей и растворов с карбонатосодержащим наполнителем, включая разработанную методику расчета составов растворов и опытное внедрение.

С целью выяснения срока возможного применения растворов смесей с наполнителем оценивалось изменение подвижности с течением времени. Начальная подвижность кладочных растворов смесей принята равной 9 см, а штукатурных составов – 8 см.

За первый час испытаний существенное падение подвижности (до 7,2 см) наблюдалось у цементной растворной смеси. Падение подвижности контрольного цементно-известкового состава в течение первого часа произошло с 9 до 8 см. При этом подвижность экспериментальных составов с наполнителем практически не изменилась. Установлено, что значения подвижности 5 см цементная смесь достигла через 4 часа, цементно-известковая – через 5 часов. Подвижность экспериментальных составов с наполнителем соответствовала 5 см только через 8–11 часов.

Для штукатурных цементных растворов смесей в течение получаса зафиксировано уменьшение подвижности у цементной и цементно-известковой композиции. После первого часа неизменным осталось значение подвижности только у цементного состава с наполнителем в количестве 100 % от расчетной массы извести. Наибольшее падение подвижности (на 1,6 см) отмечено у цементной растворной смеси. Через 3 часа после начала испытаний подвижность цементной смеси достигла 5 см. Еще через один час подвижность цементно-известковой растворной смеси составила 4,9 см, а у смесей с наполнителем – 5,9–6,5 см. Установлено, что подвижность штукатурных растворов смесей с наполнителем достигла 5 см только через 6–8 часов после начала испытаний.

Жизнеспособность кладочных растворов увеличивается в 1,6–2,2 раза при использовании вместо извести карбонатосодержащего наполнителя. Для штукатурных смесей жизнеспособность увеличивается в 1,5–2 раза.

Коэффициент паропроницаемости штукатурных известковых растворов на 14–16 % превышает значения цементных композиций. Для цементных растворов коэффициент паропроницаемости практически не изменяется и находится в пределах 0,095–0,1 мг/(м·ч·Па), а для известковых – 0,11–0,12 мг/(м·ч·Па). Коэффициент теплопроводности для растворов на цементном вяжущем составляет 0,43–0,51 Вт/(м·°С), на известковом вяжущем – 0,35–0,39 Вт/(м·°С).

Одним из важных условий практического применения наполнителя является требование по обеспечению эксплуатационных свойств растворов во влажных условиях. Для этого исследовались водопоглощение и прочность растворов марки М75 в водонасыщенном состоянии. Прочность экспериментального раствора на 1,6 МПа выше показателя цементно-известкового состава. Значительно меньшее падение прочности в водонасыщенном состоянии цементного состава с наполнителем (на 36 %), чем цементно-известкового (на 55 %), предположительно можно объяснить более низким водопоглощением и более высокой плотностью раствора с наполнителем, препятствующей про-

никновению воды в структуру цементного камня и в меньшей степени способствующей ослаблению межмолекулярных связей в образованных соединениях.

Сравнительные испытания кладочных и штукатурных цементных растворов на морозостойкость показали, что изменений прочности кладочных растворов марок М50, М75 и потери массы не наблюдалось после 50 и 75 циклов соответственно.

Через 75 циклов значение падения прочности цементно-известкового состава марки М50 достигло 25 %. Снижение прочности экспериментального состава достигло 25 % через 90 циклов. Падение прочности контрольного раствора марки М75 до 26 % произошло только через 100 циклов. Прочность кладочного раствора с наполнителем по истечении 100 циклов снизилась на 15 %, и только после 110 циклов составила 26 %.

Снижение прочности штукатурного цементно-известкового состава марки М50 произошло только через 70 циклов и составило 25 %. Через 80 циклов значение падения прочности экспериментального состава достигло 26 %. Прочность контрольного раствора марки М75 упала на 26 % только через 90 циклов, а у штукатурного раствора с наполнителем снизилась на 12 % и достигла 23 % только после 100 циклов.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что снижение прочности образцов с наполнителем происходит менее интенсивно. Как следствие, образцы выдерживают больше на 10–15 циклов попеременного замораживания и оттаивания по сравнению с контрольными составами. Увеличение морозостойкости экспериментальных составов с наполнителем обусловлено более плотной структурой материала, обеспечивающей более низкое водопоглощение. Установлено, что марки по морозостойкости кладочных и штукатурных цементных растворов с наполнителем превышают нормативное значение, равное F50, следовательно, могут применяться как для кладки внутренних, наружных стен, так и для внутренних, и наружных штукатурных работ.

Полученные результаты по кинетике набора прочности за двухгодичный период свидетельствуют об идентичности значений цементно-известкового раствора и раствора с наполнителем. С увеличением возраста испытываемых образцов контрольного и экспериментального составов происходит замедление кинетики набора прочности. Данные исследования подтверждают результаты дифференциально-термического и рентгенофазового анализа об отсутствии новообразований, отрицательно влияющих на прочность цементного камня в растворах с наполнителем.

Проведены испытания по определению прочности сцепления кладочных и штукатурных растворов с керамическим кирпичом, с блоками из тяжелого бетона и газосиликата.

При испытании образцов на кладочном цементно-известковом растворе разрушение происходило по границе контакта раствора с кирпичом. В образ-

цах на растворе с наполнителем разрушение происходило по «телу» растворного шва, то есть носило когезионный характер, что также указывает на более высокую адгезионную способность раствора к керамической поверхности. Аналогичные результаты по характеру разрушения получены и на образцах с основанием из тяжелого бетона. Разрушение образцов с основанием из газосиликата проходит по границе контакта газосиликатного основания и раствора. Прочность сцепления экспериментальных растворов составила 0,21–0,3 МПа, что на 40–50 % выше, чем у раствора с добавкой извести, что свидетельствует о более высокой адгезии раствора с наполнителем к искусственным каменным основаниям.

Кладка из керамического кирпича, газосиликатных блоков и блоков из тяжелого бетона на цементном растворе с наполнителем относится к I категории ( $R_{bf} \geq 0,18$  МПа) по сопротивляемости сейсмическим воздействиям. Таким образом, цементные растворы с карбонатосодержащим наполнителем можно рекомендовать для кладки стен зданий в сейсмоопасных регионах. Применение цементных растворов с наполнителем позволит увеличить прочность каменной кладки, т.е. повысить монолитность и сделать ее более надежной.

При определении прочности сцепления штукатурных цементных растворов, содержащих наполнитель, установлено, что при использовании в качестве основания керамического кирпича и блоков из тяжелого бетона разрушение происходило по раствору, т.е. носило когезионный характер. Несмотря на высокую шероховатость поверхности блоков из газосиликата, разрушение в основном имеет адгезионный характер, при этом частично в образцах наблюдается разрушение по структуре шероховатой поверхности газосиликатных блоков. Прочность сцепления экспериментальных растворов с поверхностью на 33–42 % выше, чем у контрольных составов, и составляет 0,3–0,59 МПа.

Результаты исследований прочности сцепления штукатурных известковых растворов, содержащих наполнитель, показали, что в контрольных образцах разрушение независимо от материала основания происходило по границе контакта раствора с основанием, а контактная поверхность растворов практически оставалась неповрежденной. Образцы на известковых составах с наполнителем разрушались по структуре растворов. Прочность сцепления экспериментальных составов составила 0,23–0,29 МПа, что на 21–38 % выше, чем у раствора с добавкой извести.

В процессе лабораторных исследований установлено, что прочность составов, содержащих известь и наполнитель, одинаковая на образцах-кубах с размером ребра 70 мм, существенно отличается на тех же составах из шва кладки при испытании образцов с ребром 20 мм. Согласно разработанной методике при герметизации шва процесс испарения воды из образцов происходит только через пористое основание (кирпич), и процесс гидратации цемента происходит в более полном объеме.



При введении 60 % наполнителя от массы извести прочность раствора ниже на 19 % в сравнении с цементно-известковым, так как экспериментальный состав при контакте с пористым основанием не может удерживать необходимое количество воды для гидратации цемента. При введении 100 % наполнителя экспериментальные растворы показывают прочность на уровне цементно-известковых составов за счет высокой водоудерживающей способности.

При герметизации шва прочность экспериментального раствора, содержащего 80 % наполнителя от расчетной массы извести, на 30 % превышает значение контрольного состава. Полученные результаты указывают на оптимальное количество вводимого наполнителя, при котором не происходит его передозировки и замедления набора прочности раствора, при этом водоудерживающая способность состава обеспечивает необходимое количество воды для гидратации цемента.

На основании проведенного комплекса исследований как наполнителя, так и цементных смесей и растворов, содержащих наполнитель, разработана **методика расчета состава кладочного цементного раствора с наполнителем**: на *первом этапе* назначается расход цемента, производится расчет расхода воды и песка по методике, изложенной в П1-03 к СНиП 3.04.01-87 для цементно-известковых растворов; на *втором этапе* необходимое количество наполнителя по массе  $m_n$  в килограммах на 1 м<sup>3</sup> раствора ориентировочно предлагается определять по формуле (4); на *третьем этапе* по рассчитанному составу кладочного раствора изготавливается пробный замес и формуются образцы размером 70×70×70 мм по ГОСТ 5802. При необходимости по результатам испытаний растворной смеси и раствора производим корректировку состава.

$$m_n = K_n \cdot (1 - 0,002 \cdot m_u), \quad (4)$$

где  $m_u$  – расход цемента в кг, принимаемый по П1-03 к СНиП 3.04.01-87;

0,002 – числовой коэффициент, кг<sup>-1</sup>

$K_n$  – коэффициент, учитывающий максимальный размер частиц наполнителя, в зависимости от марки раствора (значение коэффициента  $K_n$  находим по таблице 4), кг

Таблица 4 – Значения коэффициента  $K_n$  для определения расхода наполнителя

Марка раствора	Коэффициент $K_n$ при максимальном размере частиц наполнителя в мкм			
	60	70	80	90
50	84	89	96	101
75	89	96	96	101
100	89	96	101	108
150	96	101	101	108
200	96	101	108	–

Результаты исследований легли в основу разработанных технических условий ТУ ВУ 300220696.050-2010 «Наполнитель карбонатосодержащий наполнитель для строительных растворов» и рекомендаций по применению карбонатосодержащего наполнителя в строительных растворах. Получены 4 опытные партии наполнителя в условиях лаборатории общим объемом 680 кг. Кладочные и штукатурные растворы марок М50 и М75 на цементном вяжущем и штукатурные растворы на известковом вяжущем с карбонатосодержащим наполнителем использованы при выполнении кладочных и штукатурных работ на объектах Полоцкого государственного университета.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Результаты исследований свидетельствуют о том, что на основании доступного многотоннажного вторичного продукта возможно получение экологически безопасного многофункционального наполнителя для строительных растворов, имеющего по сравнению с применяемой известью при расчете на 1 м<sup>3</sup> раствора на 45–55 % более низкую стоимость, позволяющего одновременно решить локальные экологические проблемы регионов и снизить налоговые отчисления предприятий по экологическим сборам [1–8; 11–17].

2. Применение математического планирования эксперимента и статистических методов обработки полученных экспериментальных данных позволило построить корреляционные зависимости по расслаиваемости и вододерживающей способности цементных растворных смесей и прочности цементных растворов. Использование полиномиальных моделей дало возможность определить оптимальную дозировку наполнителя в количестве 70–90 % от расчетной массы извести при максимальном размере частиц 60–90 мкм.

Для штукатурных известковых растворов наилучшие показатели по основным свойствам достигаются при замене 40–50 % извести по массе наполнителем в количестве 80 % от сокращаемого расхода извести при максимальном размере частиц 80 мкм.

Полученные результаты использованы при определении коэффициента  $K_n$ , учитывающего максимальный размер частиц наполнителя, в зависимости от марки раствора в разработанной методике расчета состава строительного цементного раствора с наполнителем [7, 8].

3. Экспериментальные гранулометрические исследования с применением оптической и электронной микроскопии показали, что частицы менее 50 мкм, составляющие 60 % от общего количества, имеют округлую, близкую к сфе-

рической, форму. Такая форма частиц в случае применения наполнителя позволяет улучшить подвижность растворной смеси. Полученные изображения поверхности частиц дали возможность установить наличие рыхло-зернистой структуры, хорошо удерживающей воду и тем самым способствующей повышению водоудерживающей способности и снижению расслаиваемости растворной смеси [7, 8].

4. Установлены преимущества полученного наполнителя, заключающиеся в увеличении жизнеспособности кладочных растворных смесей в 1,6–2,2 раза, возрастании прочности на сжатие раствора в шве кладки на 30 %, прочности сцепления раствора с основанием на 30–50 %. При этом обеспечиваются нормативные требования к кладочным растворным смесям по расслаиваемости, водоудерживающей способности, подвижности, а также к растворам по водопоглощению и морозостойкости. Кроме того, кинетика набора прочности при долгосрочных исследованиях находится на уровне значений цементно-известковых растворов. Следовательно, при использовании наполнителя обеспечивается комплекс характеристик кладки, гарантирующий ее несущую способность, монолитность, долговечность и эксплуатационную надежность [1–2; 4–5; 11–16].

5. Введение наполнителя в штукатурные составы позволяет получить растворы, соответствующие по подвижности, расслаиваемости, водоудерживающей способности, прочности и морозостойкости требуемым показателям качества. При этом оптимальный расход вводимого наполнителя позволяет снизить усадочные деформации штукатурных растворов на 40–60 %, увеличить прочность на сжатие в возрасте 7 суток штукатурных известковых растворов на 60 %, а также жизнеспособность штукатурных цементных растворных смесей в 1,5–2 раза, способствует повышению прочности сцепления растворов с поверхностью на 30–35 %, что снижает вероятность отслоения штукатурного слоя от поверхности элементов конструкций при возникновении динамических нагрузок, в особенности вибрационных воздействий [9–10, 17].

6. Результаты научных исследований реализованы в полученных патентах на изобретение и полезную модель. На технической ярмарке-выставке в г. Санкт-Петербурге в 2011 году разработка «Микронаполнитель для строительных растворов» в номинации «Лучший инновационный проект в области новых материалов и химических продуктов» получила диплом II степени с вручением серебряной медали.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Полученные экспериментальные данные легли в основу разработанной методики по определению прочности раствора из шва кладки и расчета составов

цементных растворов с наполнителем, а также нашли свое отражение в разработанных технических условиях ТУ ВУ 300220696.050-2010 «Наполнитель карбонатосодержащий наполнитель для строительных растворов», рекомендациях по применению карбонатосодержащего наполнителя в строительных растворах, разработанном бизнес-плане «Производство карбонатосодержащего наполнителя для строительных растворов». Результаты исследований реализованы при использовании опытных партий штукатурного и кладочного раствора на объектах Полоцкого государственного университета.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в научных изданиях**

1. Журавская, Ю. В. Применение карбонатных наполнителей в строительных растворах и бетонах / Ю. В. Журавская, А. А. Кудряшова, Н. Ф. Ширинзаде // Труды молодых спец. Полоц. гос. ун-та. – Вып. 22. Строительство. – 2007. – С. 96–97.

2. Журавская, Ю. В. Влияние карбонатосодержащего микронаполнителя на технологические свойства растворных смесей и физико-механические свойства растворов / Ю. В. Журавская, А. А. Кудряшова // Труды молодых спец. Полоц. гос. ун-та. – Вып. 30. Строительство. – 2008. – С. 53–54.

3. Вишнякова, Ю. В. Исследование влияния фракционного состава шлама водоочистки на свойства кладочных растворных смесей и растворов / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2008. – № 12. – С. 47–52.

4. Вишнякова, Ю. В. Долговечность строительных растворов с добавкой на основе шлама водоочистки / Ю. В. Вишнякова, В. А. Фетисов // Труды молодых спец. Полоц. гос. ун-та. – Вып. 36. Строительство. – 2009. – С. 103–107.

5. Вишнякова, Ю. В. Исследование показателей долговечности строительных растворов, модифицированных карбонатосодержащим микронаполнителем / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений : сб. науч. тр. ; под ред. О. В. Коробова. – Новополоцк : ПГУ, 2011. – Вып. 3. – С. 85–88.

6. Вишнякова, Ю. В. Прочностные характеристики кладочных растворов с микронаполнителем на основе шлама водоочистки / Ю. В. Вишнякова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2011. – № 8. – С. 68–72.

7. Вишнякова, Ю. В. Карбонатосодержащий наполнитель на основе шлама водоочистки ТЭЦ для цементных кладочных растворов / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6(39). – С. 30–34.

8. Вишнякова, Ю. В. Механизмы влияния карбонатосодержащего наполнителя на свойства кладочных растворных смесей и растворов / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2012. – № 1(73). – С. 108–115.

9. Вишнякова, Ю. В. Штукатурные цементные и известковые растворы с карбонатосодержащим наполнителем / Ю. В. Вишнякова, В. А. Сманцер // Труды молодых спец. Полоц. гос. ун-та. – Вып. 58. Строительство. – 2012. – С. 65–69.

10. Вишнякова, Ю. В. К вопросу о применении мелкодисперсного наполнителя в штукатурных растворах / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович, А. И. Колтунов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Прикладные науки. Строительство. – 2013. – № 16. – С. 61–67.

### **Материалы конференций**

11. Вишнякова, Ю. В. К вопросу утилизации шлама водоочистки в строительной отрасли / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XV междунар. науч.-метод. семинара, Новополоцк. – 2008. – С. 103–107.

12. Vishniakova, J. Mineral additives for mortar based on the manufacture of secondary products / J. Vishniakova, V. Fetisov, A. Bakatovich // Materials of junior researchers' conference (Novopolotsk, April 22–23, 2009). – P. 143–146.

13. Вишнякова, Ю. В. Минеральная добавка для строительных растворов на основе вторичного продукта производства / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVI междунар. науч.-метод. семинара, Брест. – 2009. – С. 63–67.

14. Вишнякова, Ю. В. Мелкодисперсный наполнитель для строительных растворов / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVII междунар. науч.-метод. семинара, Гродно. – 2010. – С. 305–310.

15. Vishniakova, J. Microfilling material for building mortar / J. Vishniakova, A. Bakatovich // Materials of junior researchers' conference "National and European dimension in research" in 3 parts. Part 3 Economics. Civil engineering (Novopolotsk, April 27–28, 2011). – P. 155–158.

16. Вишнякова, Ю. В. Экологически безопасный наполнитель на основе вторичного продукта для строительных растворов / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович // Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве : материалы междунар. науч.-практ. конф. под общ. ред. д. т. н., проф. А. Б. Невзоровой, Гомель. – 2011. – С. 115–117.

17. Вишнякова, Ю. В. Исследование свойств штукатурных композиций с минеральным наполнителем / Ю. В. Вишнякова, В. А. Сманцер, А. А. Бакатович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVIII междунар. науч.-метод. семинара, Новополоцк. – 2012. – С. 45–52.

### **Патенты и технические условия**

18. Кладочный раствор : пат. 12805 Респ. Беларусь, МПК С 04 В 28/00 / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович ; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а 20081253 ; заявл. 06.10.2008 ; опубл. 28.02.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 1 . – С. 87–88.

19. Форма для определения прочности строительных растворов : пат. 5677 Респ. Беларусь, МПК G 01 N 3/00 / Ю. В. Вишнякова, А. А. Бакатович ; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u20090298 ; заявл. 10.04.2009 ; опубл. 30.10.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5. – С. 196.

20. Наполнитель карбонатосодержащий для строительных растворов : ТУ ВУ 300220696.050-2010, 2011. – 12 с.

## **РЭЗЮМЭ**

**Вішнякова Юлія Валянцінаўна**

### **Будаўнічыя растворы з карбанатазмяшчальным напаўняльнікам з другаснага прадукту водападрыхтоўкі**

Ключавыя словы: другасны прадукт, шлам водаачысткі, карбанатазмяшчальны напаўняльнік, кладачны раствор, тынкавы раствор, памер часціц, механізм узаемадзеяння, трываласць, вадаўтрымліваючая здольнасць, расслойнасць, рухавасць, марозаўстойлівасць.

Мэта работы – распрацоўка на аснове другаснага прадукту карбанатазмяшчальнага напаўняльніка для кладачных і тынкавых раствораў. Даследаванні ажыццяўляліся з выкарыстаннем стандартных і прапанаваных аўтарам метадык, а таксама з выкарыстаннем метадаў статыстычнай апрацоўкі вынікаў эксперыментаў.

Праведзены аналіз заканамернасцяў працэсаў узаемадзеяння напаўняльніка з цэнтаментам. Выяўлены механізмы ўплыву напаўняльніка на асноўныя ўласцівасці растварных сумесей і раствораў. Праведзены даследаванні па вызначэнні рухавасці, расслойнасці, вадаўтрымліваючай здольнасці і жыццяздзейнасці растварнай сумесі, а таксама трываласці на сцісканне, марозаўстойлівасці, вадапаглынання, каэфіцыенту параванікальнасці, каэфіцыенту цеплаправоднасці, кінэтыкі набору трываласці, трываласці скаплення з асновай. Атрыманыя матэматычныя мадэлі трываласці раствора, расслойнасці і вадаўтрымліваючай здольнасці растваравай сумесі з карбанатазмяшчальным напаўняльнікам дазволілі вызначыць выдатак і максімальны памер часціц напаўняльніка ў залежнасці ад маркі раствора, а таксама распрацаваць метадыку разліку складу цэнтаментавага раствора з напаўняльнікам.

Вынікі даследаванняў рэалізаваныя пры доследным укараненні і ў распрацаваных нарматыўных дакументах на вытворчасць і прымяненне карбанатазмяшчальнага напаўняльніка.

Абсяг прымянення – будаўніцтва будынкаў і збудаванняў. На сённяшні дзень праводзіцца праца па падрыхтоўцы да пачатку прамысловага вырабу і прымянення карбанатазмяшчальнага напаўняльніка ў будаўнічых растворах на Наваполацкай ЦЭЦ і ААТ “Наваполацкжалезабетон”.

## РЕЗЮМЕ

**Вишнякова Юлия Валентиновна**

### **Строительные растворы с карбонатосодержащим наполнителем из вторичного продукта водоподготовки**

**Ключевые слова:** вторичный продукт, шлам водоочистки, карбонатосодержащий наполнитель, кладочный раствор, штукатурный раствор, водоподготовка, размер частиц, механизм взаимодействия, прочность, водоудерживающая способность, расслаиваемость, подвижность, морозостойкость.

**Цель работы** – разработка на основе вторичного продукта карбонатосодержащего наполнителя для кладочных и штукатурных растворов. Исследования осуществлялись с использованием стандартных и предложенных автором методик, а также с применением методов статистической обработки результатов экспериментов.

Проведен анализ закономерностей процессов взаимодействия наполнителя с цементом. Установлены механизмы влияния наполнителя на основные свойства растворных смесей и растворов. Выполнены исследования по определению подвижности, расслаиваемости, водоудерживающей способности и жизнеспособности растворной смеси, а также прочности на сжатие, морозостойкости, водопоглощения, коэффициента паропроницаемости, коэффициента теплопроводности, кинетики набора прочности, прочности сцепления с основанием. Полученные математические модели прочности раствора, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворной смеси с карбонатосодержащим наполнителем позволили определить расход и максимальный размер частиц наполнителя в зависимости от марки раствора, а также разработать методику расчета состава цементного раствора с наполнителем.

Результаты исследований реализованы при опытном внедрении и в разработанных нормативных документах на производство и применение карбонатосодержащего наполнителя.

**Область применения** – строительство зданий и сооружений. В настоящее время ведутся работы по подготовке к началу промышленного изготовления и применения карбонатосодержащего наполнителя в строительных растворах на Новополоцкой ТЭЦ и ОАО «Новополоцкжелезобетон».



## **SUMMARY**

**Vishniakova Julya Valentinovna**

### **Mortar mixes with carbonate consisting filler from the by-product of water treatment**

**Key words:** by-product, water purification sludge, carbonate consisting, masonry mortar, finishing mortar, aggregate size dimension, interaction mechanism, strength, water retaining capability, division into layers, mobility, frost resistance.

The aim of this work is to work out carbonate consisting filler for masonry and finishing mortar from the by-product. Research has been carried out with the use of present and author's techniques as well as the methods of stratical treatment of experiment results.

The analysis has been done on regularity of interaction processes of the filler with cement. The mechanism of filler effect on the main properties of mortar mixes has been established. The experiment on the definition of mobility, layering, water retaining capability and workability of mortar mixture as well as compressive strength, frost resistance, water absorbing, vapour permeability coefficient, coefficient of heat conduction, strength development kinetics, cohesiveness strength with basement have been carried out. The mathematical strength models obtained, layering, water retaining capability of mortar mix with above mentioned filler allowed to define the expenditure and maximum size of filler particles depending of design of cement mortar with filler.

The results of the research have been realized into experimental introduction and working out of standard document for manufacture and application of the filler consisting carbonate.

The sphere of application is construction of buildings and structures. At present the work on preparation to the start of industrial production and application of this filler in mortar at Novopolotsk central electrical heat plant and reinforced concrete elements plant.

Юлия Валентиновна ВИШНЯКОВА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ  
С КАРБОНАТОСОДЕРЖАЩИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ  
ИЗ ВТОРИЧНОГО ПРОДУКТА ВОДОПОДГОТОВКИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Подписано в печать 20.05.2014. Бумага офсетная. 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 60. Заказ 772.

Издатель и полиграфическое исполнение :  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

Лицензия ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009

Лицензия ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009

211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29

## Лист изменений

в текст автореферата диссертации Вишняковой Ю.В. «Строительные растворы с карбонатосодержащим наполнителем из вторичного продукта водоподготовки» по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия.

№ п/п	Написано	Следует читать
1.	Страница 2 строка 9 - 11 <i>Цель диссертационной работы</i> – разработка строительных растворов, содержащих наполнитель из вторичного продукта водоподготовки, позволяющий обеспечить комплекс эксплуатационных показателей композиционных составов.	<i>Цель диссертационной работы</i> – получение строительных растворов, содержащих наполнитель из вторичного продукта водоподготовки, позволяющий обеспечить комплекс эксплуатационных показателей композиционных составов.
2.	Страница 2 строка 15 - 17 2) установлено оптимальное количество карбонатосодержащего наполнителя в составе строительных растворов с применением математического моделирования;	2) установлено необходимое количество карбонатосодержащего наполнителя для приготовления строительных растворов;
3.	Страница 3 строка 8 - 10 Диссертация представляет самостоятельный труд автора, выполненный на кафедре строительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет».	Личный вклад автора заключается в непосредственном участии в формулировании цели исследования, в постановке и решении задач, анализе научных литературных источников, получении опытных образцов и изучении их свойств, составов и структуры, в разработке методики расчета составов, обобщении результатов исследования и подготовке научных публикаций. Определение, интерпретация общей концепции и направлений исследований проводились совместно с научным руководителем, осуществлявшим общее научное руководство. Испытания по определению теплотехнических свойств, усадочных деформаций растворов проведены автором совместно с канд. техн. наук Колтуновым А.И.
4.	Страница 3 строка 37 - 40 Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения и приложений. Содержит 131 страницу, 55 рисунков, 28 таблиц, 6 приложений, список использованных источников из 172 наименований на 14 страницах.	Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации составляет 192 страницы, включая 55 иллюстраций на 45 страницах, 28 таблиц на 25 страницах, библиографический список из 172 наименований на 14 страницах, 6 приложений на 58 страницах.
5.	Страница 7 формулы 1 - 3 $R_{28} = -2,388 - 0,039 \times C + 0,225 \times H + 0,239 \times P_q - 1,243 \times \Pi + 1,9 \times 10^{-4} \times C^2 - 1,39 \times 10^{-3} \times H^2 - 1,52 \times 10^{-3} \times P_q^2 + 0,065 \times \Pi^2 - 6,2 \times 10^{-4} \times C \times \Pi + 5,6 \times 10^{-4} \times H \times \Pi$ $P = 38,741 - 0,041 \times C - 0,245 \times H - 0,257 \times P_q - 2,275 \times \Pi + 7 \times 10^{-5} \times C^2 + 1,36 \times 10^{-3} \times H^2 + 1,71 \times 10^{-3} \times P_q^2 + 0,197 \times \Pi^2 - 2 \times 10^{-5} \times C \times H + 2,6 \times 10^{-4} \times C \times \Pi$ $B = 85,802 + 0,018 \times C + 0,0478 \times H + 0,0779 \times P_q + 0,899 \times \Pi - 3 \times 10^{-5} \times C^2 - 8 \times 10^{-5} \times H^2 - 5,3 \times 10^{-4} \times P_q^2 - 0,0746 \times \Pi^2 + 1,9 \times 10^{-4} \times C \times \Pi + 1,56 \times 10^{-3} \times H \times \Pi - 1,09 \times 10^{-3} \times P_q \times \Pi$	$R_{28} = -2,388 - 0,039 \times C + 0,225 \times H + 0,239 \times P_q - 1,243 \times \Pi + 1,9 \times 10^{-4} \times C^2 - 1,39 \times 10^{-3} \times H^2 - 1,52 \times 10^{-3} \times P_q^2 + 0,065 \times \Pi^2 - 6,2 \times 10^{-4} \times C \times \Pi + 5,6 \times 10^{-4} \times H \times \Pi$ $P = 38,741 - 0,041 \times C - 0,245 \times H - 0,257 \times P_q - 2,275 \times \Pi + 7 \times 10^{-5} \times C^2 + 1,36 \times 10^{-3} \times H^2 + 1,71 \times 10^{-3} \times P_q^2 + 0,197 \times \Pi^2 - 2 \times 10^{-5} \times C \times H + 2,6 \times 10^{-4} \times C \times \Pi$ $B = 85,802 + 0,018 \times C + 0,0478 \times H + 0,0779 \times P_q + 0,899 \times \Pi - 3 \times 10^{-5} \times C^2 - 8 \times 10^{-5} \times H^2 - 5,3 \times 10^{-4} \times P_q^2 - 0,0746 \times \Pi^2 + 1,9 \times 10^{-4} \times C \times \Pi + 1,56 \times 10^{-3} \times H \times \Pi - 1,09 \times 10^{-3} \times P_q \times \Pi$ <p>где <math>C, H, P_q, \Pi</math> – безразмерные значения, равные</p> $C = \frac{C'}{c}, \text{ где } C' - \text{расход цемента, кг; } c = 1 \text{ кг;}$ $H = \frac{H'}{h}, \text{ где } H' - \text{расход наполнителя, \% ; } h = 1 \text{ \% ;}$ $P_q = \frac{P'_q}{p_q}, \text{ где } P'_q - \text{максимальный размер частиц наполнителя, мкм; } p_q = 1 \text{ мкм;}$ $\Pi = \frac{\Pi'}{n}, \text{ где } \Pi' - \text{подвижность, см; } n = 1 \text{ см.}$
6.	Страница 15 формула 4 $m_n = K_n \cdot (1 - 0,002 \cdot m_q)$ <p>где <math>m_q</math> – расход цемента в кг, принимаемый по П1-03 к СНиП 3.04.01-87; 0,002 – числовой коэффициент, кг<sup>-1</sup>;</p>	$m_n = K_n \cdot (1 - 0,002 \cdot m_q)$ <p>где <math>m_q</math> – безразмерное значение, равное</p> $m_q = \frac{m'_q}{m_{qo}}, \text{ где } m'_q - \text{расход цемента, кг, принимае-}$

	$K_n$ – коэффициент, учитывающий максимальный размер частиц наполнителя, в зависимости от марки раствора, кг	мый по П1-03 к СНиП 3.04.01-87, $m_{ц0}=1$ кг; $K_n$ – количество наполнителя, обеспечивающее минимальную прочность композитной системы, кг.																																																																				
7.	Страница 15 таблица 4 Таблица 4 - Значения коэффициента $K_n$ для определения расхода наполнителя <table><tr><th rowspan="2">Марка раствора</th><th colspan="4">Коэффициент <math>K_n</math> при максимальном размере частиц наполнителя в мкм</th></tr><tr><th>60</th><th>70</th><th>80</th><th>90</th></tr><tr><td>50</td><td>84</td><td>89</td><td>96</td><td>101</td></tr><tr><td>75</td><td>89</td><td>96</td><td>96</td><td>101</td></tr><tr><td>100</td><td>89</td><td>96</td><td>101</td><td>108</td></tr><tr><td>150</td><td>96</td><td>101</td><td>101</td><td>108</td></tr><tr><td>200</td><td>96</td><td>101</td><td>108</td><td>-</td></tr></table>	Марка раствора	Коэффициент $K_n$ при максимальном размере частиц наполнителя в мкм				60	70	80	90	50	84	89	96	101	75	89	96	96	101	100	89	96	101	108	150	96	101	101	108	200	96	101	108	-	Таблица 4 – Количество наполнителя $K_n$ , обеспечивающее минимальную прочность композитной системы <table><tr><th rowspan="2">Марка раствора</th><th colspan="4">Количество наполнителя <math>K_n</math> при максимальном размере частиц в мкм</th></tr><tr><th>60</th><th>70</th><th>80</th><th>90</th></tr><tr><td>50</td><td>84</td><td>89</td><td>96</td><td>101</td></tr><tr><td>75</td><td>89</td><td>96</td><td>96</td><td>101</td></tr><tr><td>100</td><td>89</td><td>96</td><td>101</td><td>108</td></tr><tr><td>150</td><td>96</td><td>101</td><td>101</td><td>108</td></tr><tr><td>200</td><td>96</td><td>101</td><td>108</td><td>-</td></tr></table>	Марка раствора	Количество наполнителя $K_n$ при максимальном размере частиц в мкм				60	70	80	90	50	84	89	96	101	75	89	96	96	101	100	89	96	101	108	150	96	101	101	108	200	96	101	108	-
Марка раствора	Коэффициент $K_n$ при максимальном размере частиц наполнителя в мкм																																																																					
	60	70	80	90																																																																		
50	84	89	96	101																																																																		
75	89	96	96	101																																																																		
100	89	96	101	108																																																																		
150	96	101	101	108																																																																		
200	96	101	108	-																																																																		
Марка раствора	Количество наполнителя $K_n$ при максимальном размере частиц в мкм																																																																					
	60	70	80	90																																																																		
50	84	89	96	101																																																																		
75	89	96	96	101																																																																		
100	89	96	101	108																																																																		
150	96	101	101	108																																																																		
200	96	101	108	-																																																																		
8.	Страница 16 строка 19 - 25 2. Применение математического планирования эксперимента и статистических методов обработки полученных экспериментальных данных позволило построить корреляционные зависимости по расслаиваемости и водоудерживающей способности цементных растворов смесей и прочности цементных растворов. Использование полиномиальных моделей дало возможность определить оптимальную дозировку наполнителя в количестве 70 - 90 % от расчетной массы извести при максимальном размере частиц 60 - 90 мкм.	2. Применение математического планирования эксперимента и статистических методов обработки полученных экспериментальных данных дало возможность получить регрессионные зависимости расслаиваемости, водоудерживающей способности цементных растворов смесей и прочности цементных растворов и установить степень влияния факторов на выходные параметры. Результаты комплексных испытаний для растворов марок М50 - М200 позволили определить необходимую дозировку наполнителя в количестве 70 - 90 % от расчетной массы извести при максимальном размере частиц 60 - 90 мкм.																																																																				
9.	Страница 16 строка 30 - 33 Полученные результаты использованы при определении коэффициента $K_n$ , учитывающего максимальный размер частиц наполнителя, в зависимости от марки раствора в разработанной методике расчета состава строительного цементного раствора с наполнителем [7, 8].	Полученные результаты использованы при определении количества наполнителя $K_n$ , обеспечивающего минимальную прочность композитной системы с учетом максимального размера частиц наполнителя, в зависимости от марки раствора в разработанной методике расчета состава строительного цементного раствора с наполнителем [7, 8].																																																																				

Соискатель

Ю.В. Вишнякова